

Viering, Tobias; Fischer, Hans E.; Neumann, Knut

## **Die Entwicklung physikalischer Kompetenz in der Sekundarstufe I. Projekt Physikalische Kompetenz**

*Klieme, Eckhard [Hrsg.]; Leutner, Detlev [Hrsg.]; Kenk, Martina [Hrsg.]: Kompetenzmodellierung. Zwischenbilanz des DFG-Schwerpunktprogramms und Perspektiven des Forschungsansatzes. Weinheim ; Basel : Beltz 2010, S. 92-103. - (Zeitschrift für Pädagogik, Beiheft; 56)*



### Quellenangabe/ Reference:

Viering, Tobias; Fischer, Hans E.; Neumann, Knut: Die Entwicklung physikalischer Kompetenz in der Sekundarstufe I. Projekt Physikalische Kompetenz - In: Klieme, Eckhard [Hrsg.]; Leutner, Detlev [Hrsg.]; Kenk, Martina [Hrsg.]: Kompetenzmodellierung. Zwischenbilanz des DFG-Schwerpunktprogramms und Perspektiven des Forschungsansatzes. Weinheim ; Basel : Beltz 2010, S. 92-103 - URN: urn:nbn:de:0111-opus-33836 - DOI: 10.25656/01:3383

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-opus-33836>

<https://doi.org/10.25656/01:3383>

in Kooperation mit / in cooperation with:

# BELTZ

<http://www.beltz.de>

### Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.  
Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

### Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.  
This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

### Kontakt / Contact:

**peDOCS**  
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation  
Informationszentrum (IZ) Bildung  
E-Mail: [pedocs@dipf.de](mailto:pedocs@dipf.de)  
Internet: [www.pedocs.de](http://www.pedocs.de)

Zeitschrift für Pädagogik · 56. Beiheft

# **Kompetenzmodellierung**

## **Zwischenbilanz des DFG- Schwerpunktprogramms und Perspektiven des Forschungsansatzes**

Herausgegeben von

Eckhard Klieme, Detlev Leutner und Martina Kenk

**BELTZ**

Die in der Zeitschrift veröffentlichten Beiträge sind urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieser Zeitschrift darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere Datenverarbeitungsanlagen, verwendbare Sprache übertragen werden. Auch die Rechte der Wiedergabe durch Vortrag, Funk- und Fernsehsendung, im Magnettonverfahren oder auf ähnlichem Wege bleiben vorbehalten. Fotokopien für den persönlichen oder sonstigen eigenen Gebrauch dürfen nur von einzelnen Beiträgen oder Teilen daraus als Einzelkopie hergestellt werden. Jede im Bereich eines gewerblichen Unternehmens hergestellte oder genutzte Kopie dient gewerblichen Zwecken gem. § 54 (2) UrhG und verpflichtet zur Gebührenzahlung an die VG Wort, Abteilung Wissenschaft, Goethestr. 49, 80336 München, bei der die einzelnen Zahlungsmodalitäten zu erfragen sind.

© 2010 Beltz Verlag · Weinheim und Basel

Herstellung: Lore Amann

Gesamtherstellung: Druckhaus „Thomas Müntzer“, Bad Langensalza

Printed in Germany

ISSN 0514-2717

Bestell-Nr. 41157

# Inhaltsverzeichnis

*Eckhard Klieme/Detlev Leutner/Martina Kenk*

Kompetenzmodellierung. Eine aktuelle Zwischenbilanz des DFG-Schwerpunktprogramms. Einleitung zum Beiheft .....	9
--	---

*Benő Csapó*

Goals of Learning and the Organization of Knowledge .....	12
---	----

## Mathematische Kompetenzen

*Marianne Bayrhuber/Timo Leuders/Regina Bruder/Markus Wirtz*

Projekt HEUREKO

Repräsentationswechsel beim Umgang mit Funktionen – Identifikation von Kompetenzprofilen auf der Basis eines Kompetenzstrukturmodells .....	28
---	----

*Andreas Frey/Nicki-Nils Seitz*

Projekt MAT

Multidimensionale adaptive Kompetenzdiagnostik: Ergebnisse zur Messeffizienz .....	40
--	----

*Nina Zeuch/Hanneke Geerlings/Heinz Holling/Wim J. van der Linden/*

*Jonas P. Bertling*

Projekt Regelgeleitete Itementwicklung

Regelgeleitete Konstruktion von statistischen Textaufgaben: Anwendung von linear logistischen Testmodellen und Aufgabencloning .....	52
--	----

*Eckhard Klieme/Anika Bürgermeister/Birgit Harks/Werner Blum/Dominik Leiß/*

*Katrin Rakoczy*

Projekt Co<sup>2</sup>CA

Leistungsbeurteilung und Kompetenzmodellierung im Mathematikunterricht .....	64
--	----

*Olga Kunina-Habenicht/Oliver Wilhelm/Franziska Matthes/André A. Rupp*

Projekt Kognitive Diagnosemodelle

Kognitive Diagnosemodelle: Theoretisches Potential und methodische Probleme ...	75
---	----

*Aiso Heinze*

Review

Mathematische Kompetenz modellieren und diagnostizieren: Eine Diskussion der Forschungsprojekte des DFG-Schwerpunktprogramms „Kompetenzmodelle“ aus mathematikdidaktischer Sicht .....	86
--	----

## Naturwissenschaftliche Kompetenzen

*Tobias Viering/Hans E. Fischer/Knut Neumann*

Projekt Physikalische Kompetenz

Die Entwicklung physikalischer Kompetenz in der Sekundarstufe I .....	92
---	----

*Renate Soellner/Stefan Huber/Norbert Lenartz/Georg Rudinger*

Projekt Gesundheitskompetenz

Facetten der Gesundheitskompetenz – eine Expertenbefragung .....	104
--	-----

*Ilonca Hardy/Thilo Kleickmann/Susanne Koerber/Daniela Mayer/*

*Kornelia Möller/Judith Pollmeier/Knut Schwippert/Beate Sodian*

Projekt Science – P

Die Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz im Grundschulalter .....	115
---	-----

*Nina Roczen/Florian G. Kaiser/Franz X. Bogner*

Projekt Umweltkompetenz

Umweltkompetenz – Modellierung, Entwicklung und Förderung .....	126
---	-----

*Ilka Parchmann*

Review

Kompetenzmodellierung in den Naturwissenschaften – Vielfalt ist wertvoll, aber nicht ohne ein gemeinsames Fundament .....	135
---	-----

## Sprachliche und Lesekompetenzen

*Wolfgang Schnotz/Nele McElvany/Holger Horz/Sascha Schroeder/Mark Ullrich/*

*Jürgen Baumert/Axinja Hachfeld/Tobias Richter*

Projekt BITE

Das BITE-Projekt: Integrative Verarbeitung von Bildern und Texten in der Sekundarstufe I .....	143
--	-----

*Tobias Dörfler/Stefanie Golke/Cordula Artelt*

Projekt Dynamisches Testen

Dynamisches Testen der Lesekompetenz: Theoretische Grundlagen, Konzeption und Testentwicklung .....	154
---	-----

*Thorsten Roick/Petra Stanat/Oliver Dickhäuser/Volker Frederking/  
Christel Meier/Lydia Steinhauer*

Projekt Literarästhetische Urteilskompetenz

Strukturelle und kriteriale Validität der literarästhetischen Urteilskompetenz ..... 165

*Hans Anand Pant/Simon P. Tiffin-Richards/Olaf Köller*

Projekt Standard-Setting

Standard-Setting für Kompetenztests im Large-Scale-Assessment ..... 175

*Johannes Hartig/Jana Höhler*

Projekt MIRT

Modellierung von Kompetenzen mit mehrdimensionalen IRT-Modellen ..... 189

*Albert Bremerich-Vos*

Review

Modellierung von Aspekten sprachlich-kultureller Kompetenz. Anmerkungen

zu den Projektberichten ..... 199

## **Fächerübergreifende Kompetenzen**

*Ellen Gausmann/Sabina Eggert/Marcus Hasselhorn/Rainer Watermann/  
Susanne Bögeholz*

Projekt Bewertungskompetenz

Wie verarbeiten Schüler/-innen Sachinformationen in Problem- und

Entscheidungssituationen Nachhaltiger Entwicklung – Ein Beitrag zur

Bewertungskompetenz ..... 204

*Samuel Greiff/Joachim Funke*

Projekt Dynamisches Problemlösen

Systematische Erforschung komplexer Problemlösefähigkeit anhand minimal

komplexer Systeme ..... 216

*Klaus Lingel/Nora Neuenhaus/Cordula Artelt/Wolfgang Schneider*

Projekt EWIKO

Metakognitives Wissen in der Sekundarstufe: Konstruktion und Evaluation

domänenspezifischer Messverfahren ..... 228

*Jens Fleischer/Joachim Wirth/Stefan Rumann/Detlev Leutner*

Projekt Problemlösen

Strukturen fächerübergreifender und fachlicher Problemlösekompetenz –

Analyse von Aufgabenprofilen ..... 239

*Melanie Schütte/Joachim Wirth/Detlev Leutner*

Projekt Selbstregulationskompetenz

Selbstregulationskompetenz beim Lernen aus Sachtexten – Entwicklung und  
Evaluation eines Kompetenzstrukturmodells ..... 249

*Tobias Gschwendtner/Bernd Geißel/Reinhold Nickolaus*

Projekt Berufspädagogik

Modellierung beruflicher Fachkompetenz in der gewerblich-technischen  
Grundbildung ..... 258

*Franziska Perels*

Review

Modellierung und Messung fächerübergreifender Kompetenzen und ihre  
Bedeutung für die Bildungsforschung. Kritische Reflexion der Projektbeiträge ... 270

## **Lehrerkompetenzen**

*Simone Bruder/Julia Klug/Silke Hertel/Bernhard Schmitz*

Projekt Beratungskompetenz

Modellierung der Beratungskompetenz von Lehrkräften ..... 274

*Cornelia Gräsel/Sabine Krolak-Schwerdt/Ines Nölle/Thomas Hörstermann*

Projekt Diagnostische Kompetenz

Diagnostische Kompetenz von Grundschullehrkräften bei der Erstellung der  
Übergangsempfehlung: eine Analyse aus der Perspektive der sozialen  
Urteilsbildung ..... 286

*Tina Seidel/Geraldine Blomberg/Kathleen Stürmer*

Projekt OBSERVE

„OBSERVER“ – Validierung eines videobasierten Instruments zur Erfassung  
der professionellen Wahrnehmung von Unterricht ..... 296

*Mareike Kunter*

Review

Modellierung von Lehrerkompetenzen. Kommentierung der  
Projektdarstellungen ..... 307

# Naturwissenschaftliche Kompetenzen

*Tobias Viering/Hans E. Fischer/Knut Neumann*

## Die Entwicklung physikalischer Kompetenz in der Sekundarstufe I

*Projekt Physikalische Kompetenz<sup>1</sup>*

### 1. Fragestellung und theoretischer Ansatz

In den Nationalen Bildungsstandards (NBS) für den Mittleren Schulabschluss in Physik (vgl. KMK 2005) sind die Bildungsziele des Faches für den Abschluss der Sekundarstufe I in Form von Kompetenzen formuliert (vgl. Klieme u.a. 2003). Um den Entwicklungsstand einzelner Schülerinnen und Schüler hinsichtlich der postulierten Bildungsziele im Verlauf der Sekundarstufe I feststellen zu können und damit eine individuelle Förderung zu ermöglichen, werden entsprechende Diagnoseinstrumente benötigt. Der Zusammenhang zwischen abstrakten Bildungszielen und konkreten Aufgaben in Diagnoseinstrumenten wird durch Kompetenzmodelle hergestellt (ebd.). Kompetenzmodelle, die Ausprägungen in verschiedenen Kompetenzbereichen beschreiben, werden als Kompetenzstrukturmodelle bezeichnet. Dagegen bilden Kompetenzentwicklungsmodelle ab, wie sich Kompetenzstrukturen verändern (vgl. Schecker/Parchmann 2006). Ziel des in diesem Beitrag vorgestellten Projekts ist es, ein Entwicklungsmodell theoretisch herzuleiten und empirisch zu prüfen. Grundlage ist ein bereits erprobtes Strukturmodell physikalischer Kompetenz.

#### 1.1. Modellierung physikalischer Kompetenz

Für das Fach Physik in der Sekundarstufe I diskutierte Kompetenzstrukturmodelle gehen auf die Konkretisierung des Konzepts naturwissenschaftlicher Grundbildung durch Bybee (1997) zurück. Ausgehend von dieser Beschreibung leiten Klieme u.a. (2000) aus den TIMSS-Daten post hoc ein Modell naturwissenschaftlicher Kompetenz ab. Die vorgenommene Zuordnung der naturwissenschaftlichen Testaufgaben zu den postulierten

1 Diese Veröffentlichung wurde ermöglicht durch eine Sachbeihilfe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (Kennz.: NE 1368/2-1, 2-2) im Schwerpunktprogramm „Kompetenzmodelle zur Erfassung individueller Lernergebnisse und zur Bilanzierung von Bildungsprozessen“ (SPP 1293).



ten Kompetenzniveaus konnte in einem Experten-Rating allerdings nicht bestätigt werden (vgl. Klieme 2000). Auch ein erneuter Versuch, im Rahmen von PISA 2000 ein Modell naturwissenschaftlicher Kompetenz post hoc zu beschreiben, schlug fehl: Wieder gelang die Zuordnung der Aufgaben zu den beschriebenen Niveaus nicht zufriedenstellend (vgl. Prenzel u.a. 2001, S. 202ff.). Im Rahmen der nationalen Zusatzerhebung PISA-E konnten zwar mit einem a priori entwickelten Kompetenzstrukturmodell verschiedene kognitive Teilkompetenzen zufriedenstellend unterschieden werden (vgl. Prenzel u.a. 2001, S. 225ff.), Ausprägungen in den Teilkompetenzen wurden jedoch norm- und nicht kriterienbezogen definiert (vgl. Neumann u.a. 2007).

Ein Modell naturwissenschaftlicher Kompetenz, das diese Beschränkung überwinden soll, wird von Schecker/Parchmann (2006) vorgeschlagen. Auf der Grundlage der NBS für die drei naturwissenschaftlichen Fächer führen sie die Ergebnisse fachdidaktischer Forschung zu einem für alle drei Fächer gültigen Modell in den Dimensionen *Inhaltsbereich*, *Prozess*, *Kontext*, *Ausprägung* und *Kognitive Anforderung* zusammen. Empirische Untersuchungen zeigen, dass sich die wesentlichen Komponenten des Modells bestätigen lassen, eine systematische Unterscheidung der Komponenten oder sogar eine kriterienorientierte Unterscheidung von Kompetenzniveaus bisher jedoch nicht möglich ist (vgl. Einhaus 2007; Schmidt 2008).

Ebenfalls bezogen auf die Vorgaben der NBS entwickelt Kauertz (2007), ausgehend von einem Modell der Vernetzung von Fachinhalten (vgl. Fischer u.a. 2006), ein sogenanntes Inhaltsstrukturmodell zur Erklärung der Schwierigkeit von Physikaufgaben in drei Dimensionen: *Leitidee*, *Kognitive Aktivität* und *Komplexität*. Die Dimension *Leitidee* umfasst die in den NBS zur Strukturierung des Kompetenzbereichs *Fachwissen* benannten Basiskonzepte *Energie*, *Wechselwirkung*, *System* und *Materie* (vgl. KMK 2005). Die Dimension *Kognitive Aktivität* bezieht sich auf kognitive Verarbeitungsstrategien, die als *Erinnern*, *Strukturieren* und *Explorieren* bezeichnet werden. Die Dimension *Komplexität* umfasst sechs hierarchisch geordnete Komplexitätsniveaus: *Ein Fakt* (1), *Mehrere Fakten* (2), *Ein Zusammenhang* (3), *Mehrere unverbundene Zusammenhänge* (4), *Mehrere verbundene Zusammenhänge* (5), *Übergeordnetes Konzept* (6). Als Fakten werden dabei kleinste physikalische Sinneinheiten, wie z.B. Beobachtungen bezeichnet. Als Zusammenhänge gelten mögliche Beziehungen zwischen Fakten. Mit *Übergeordnetes Konzept* ist gemeint, dass die Schülerin bzw. der Schüler über so viele Zusammenhänge zwischen Fakten verfügen kann, dass sich eine neue Qualität von Wissen herausgebildet hat, ein konzeptuelles Verständnis (vgl. Kauertz 2007). Die empirische Validierung des Modells zeigt: Für jede Leitidee besitzt die *Komplexität* (der erwarteten Lösung) einen schwierigkeitserzeugenden Einfluss; die einzelnen Leitideen wirken sich dabei jeweils unterschiedlich auf die Schwierigkeit aus. Ein Einfluss der kognitiven Aktivitäten auf die Schwierigkeit kann nicht nachgewiesen werden. Die Komplexitätsniveaus *Mehrere Fakten* und *Mehrere unverbundene Zusammenhänge* zeigen eine hohe Streuung bei der Schwierigkeit der jeweiligen Aufgaben, was wahrscheinlich in der stark variierenden Zahl der Fakten bzw. Zusammenhänge begründet ist (vgl. ebd.). Daher wurden diese Niveaus für Folgeuntersuchungen auf *Zwei Fakten* bzw. *Zwei Zusammenhänge* begrenzt und die Niveaus *Mehrere unverbundene Zusammenhänge*

und *Mehrere verbundene Zusammenhänge* zusammengefasst. Das so modifizierte Modell bildet den Kern des Modells, das zur Normierung der Nationalen Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss genutzt wird (vgl. Walpuski u.a. 2008).

Kompetenzentwicklung wird in frühen Kompetenzstrukturmodellen (vgl. Bybee 1997; Klieme u.a. 2000; Prenzel u.a. 2001) als Erwerb von Fähigkeiten auf höheren Kompetenzniveaus angenommen. Da sich diese Kompetenzmodelle jedoch nur als eingeschränkt valide herausgestellt haben, wurde diese Annahme nicht weiter empirisch untersucht. Für die neueren, auf Grundlage der NBS entwickelten Modelle (vgl. Schecker/Parchmann 2006; Kauertz 2007; Walpuski u.a. 2008) wird Kompetenzentwicklung bisher nicht thematisiert. Die Feststellung von Schecker und Parchmann, dass empirisch „... bisher gar nicht geklärt ist, in welcher Weise und in welcher Verknüpfung sich die Ausprägungen naturwissenschaftlicher Kompetenz beim Individuum zeitlich entwickeln“ (Schecker/Parchmann 2006, S. 57), hat deshalb weiterhin Bestand.

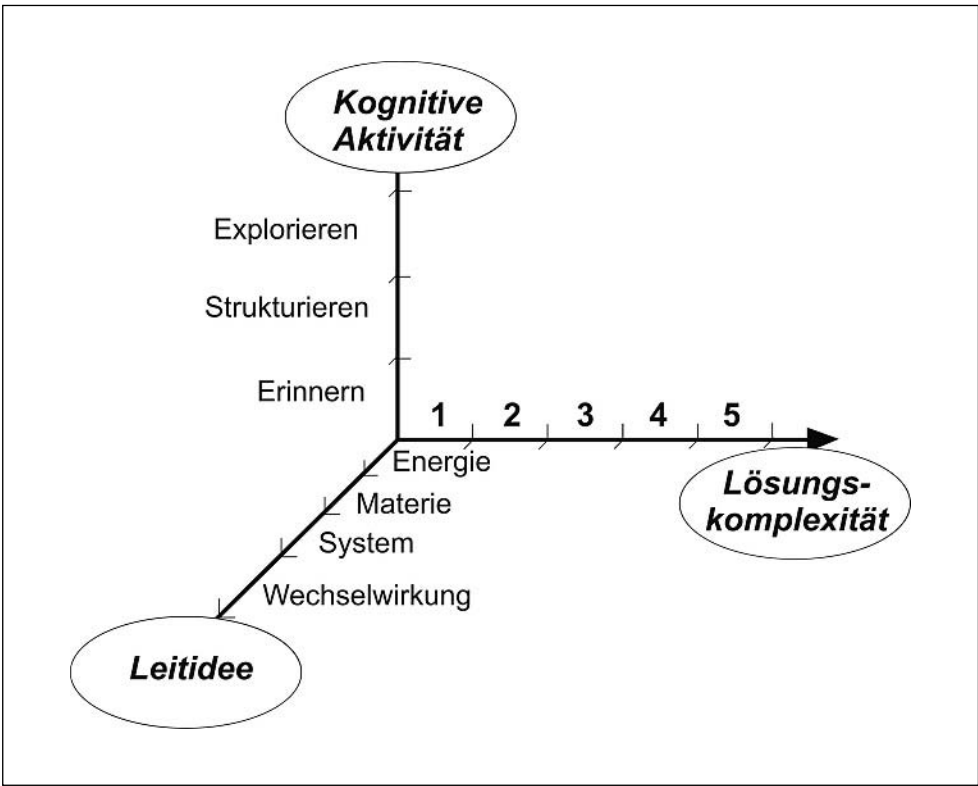


Abb. 1: Strukturmodell physikalischer Kompetenz

## 1.2 Entwicklung physikalischer Kompetenz

Als Ausgangspunkt für die theoretische Beschreibung der Entwicklung physikalischer Kompetenz wird das von Kauertz (2007) entwickelte und empirisch validierte Kompetenzstrukturmodell in der beschriebenen weiterentwickelten Form gewählt (s. Abb. 1).

Versteht man Kompetenzentwicklung in diesem Modell als das Fortschreiten von einem Kompetenzniveau zum nächsten, entspricht das einer stärkeren Vernetzung der Wissensbasis. Schülerinnen und Schüler verknüpfen Fakten zu Zusammenhängen und einzelne Zusammenhänge zu komplexen Netzwerken, die einem konzeptuellen Verständnis entsprechen (vgl. Neumann u.a. 2007). Gleichzeitig kann Kompetenzentwicklung aber auch auf jedem einzelnen Kompetenzniveau stattfinden: Schülerinnen und Schüler erwerben neue Fakten und stellen neue Zusammenhänge zu diesen Fakten her. Insgesamt vergrößert sich ihre Wissensbasis, sie wird differenzierter. Das konzeptuelle Verständnis, das mit dieser Wissensbasis verknüpft ist, verändert sich. Dies steht im Einklang mit Ansätzen der Beschreibung des Wandels begrifflichen Verständnisses (vgl. Wellman/Gelman 1998), wobei nicht das Verständnis einzelner Begriffe oder deren Vernetzung betrachtet wird, sondern vielmehr das Begriffsnetz selbst mit dem Verständnis eines physikalischen Konzepts gleichgesetzt wird.

Die Untersuchung des Verständnisses physikalischer Konzepte wird in der physikdidaktischen Forschung unter dem Begriff „Schülervorstellungen“ subsumiert. Der Schwerpunkt lag dabei bisher auf der Erfassung verschiedener Vorstellungen von physikalischen Konzepten (vgl. Vosniadou 2008). Besonders intensiv untersucht wurden zentrale Konzepte wie *Energie* (vgl. z.B. Duit 1986) oder *Materie* (vgl. z.B. Andersson 1990). Ausgehend von diesen Vorarbeiten analysieren neuere Untersuchungen, wie sich das Verständnis dieser Konzepte über die Schulzeit hinweg entwickelt: Für das Energiekonzept postulieren Liu und McKeough (2005) eine hierarchische Anordnung von vier inhaltspezifischen Entwicklungsstufen, die für den mittleren Schulabschnitt relevant sind: *Energieformen und -quellen*, *Energieumwandlung und -transport*, *Energieentwertung* und *Energieerhaltung*. Durch Zuordnung der energiebezogenen Aufgaben der TIMSS-Untersuchung (vgl. Harmon u.a. 1997) zu diesen Entwicklungsstufen und durch Analyse der TIMSS-Daten gelangen Liu und McKeough (2005) zu dem Schluss, dass sich das Verständnis des Energiekonzepts entsprechend der von ihnen postulierten Hierarchie entwickelt. Liu und Lesniak (2006) analysieren die Entwicklung des Materiekonzepts auf der Grundlage von Daten, die dagegen mit einem spezifischen Testinstrument erhoben wurden. Sie beobachten eine Entwicklung des Materiekonzepts, die im Gegensatz zu der des Energiekonzepts für verschiedene Aspekte des Materiekonzepts parallel verläuft.

Um diese Ergebnisse zu berücksichtigen, wird das Kompetenzstrukturmodell (s. Abb. 1) zunächst um eine Dimension *Konzeptentwicklung* erweitert.

Bei der Erfassung des Entwicklungsstandes physikalischer Kompetenz durch Aufgaben ist zudem zu berücksichtigen, dass der Informationsgehalt des Aufgabentextes eine Rolle spielt. Es wird angenommen, dass einer Schülerin bzw. einem Schüler mit umfangreicher und vernetzter Wissensbasis weniger komplexe Informationen im Aufgabentext gegeben werden müssen, damit er bzw. sie die Aufgabe auf dem geforderte Komplexi-

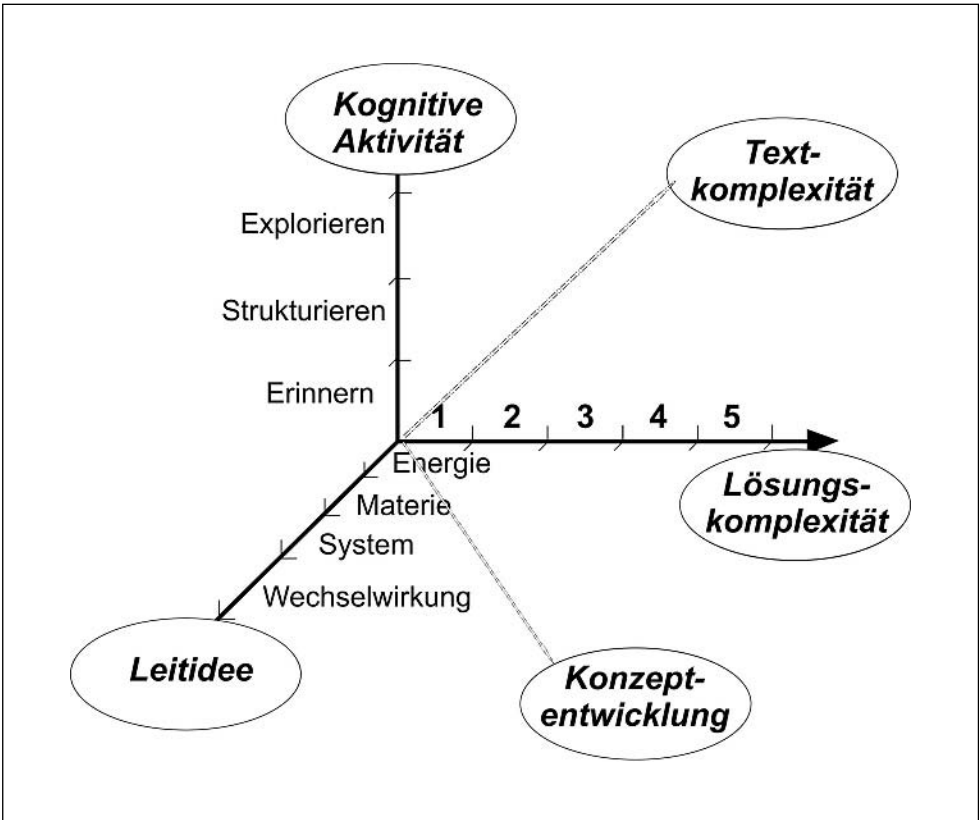


Abb. 2: Kompetenzentwicklungsmodell für den Bereich Fachwissen

tätsniveau lösen kann. Damit muss nicht nur der Aufgabenlösung sondern auch dem Aufgabentext ein spezifisches Komplexitätsniveau zugeordnet werden. Zusätzlich zur Dimension *Komplexität* – im Folgenden genauer als *Lösungskomplexität* bezeichnet – wird das Modell um die Dimension *Textkomplexität* erweitert. Es ergibt sich ein Entwicklungsmodell physikalischer Kompetenz in fünf Dimensionen (s. Abb. 2).

2. Forschungsdesign und Methoden

Zur empirischen Prüfung des vorgeschlagenen Kompetenzentwicklungsmodells (vgl. Abb. 2) muss das Modell durch Aufgaben operationalisiert werden. Dabei wird in diesem Projekt zunächst auf die Entwicklung des Verständnisses des Energiekonzepts fokussiert. Liu/McKeough (2005) unterscheiden die oben benannten vier Entwicklungsstufen des Energiekonzepts, wobei im Rahmen der Sekundarstufe I eine Entwicklung von einem Verständnis des Energiekonzepts auf dem Niveau von Energieformen und -quellen hin zu Energieerhaltung angenommen wird.

Da in dieser Untersuchung ausschließlich auf das konzeptuelle Verständnis der Schülerinnen und Schüler fokussiert werden soll, werden nur Aufgaben eingesetzt, bei denen die Komplexität der erwarteten Lösung dem Niveau *Übergeordnetes Konzept* entspricht. Die Lösungskomplexität der zu entwickelnden Aufgaben ist daher konstant. Der Einfachheit halber können Lösungskomplexität und Textkomplexität zur *Aufgabenkomplexität* als ein Maß für die Schwierigkeit der Aufgaben zusammengefasst werden: Die Aufgabenkomplexität ist damit als Differenz von Lösungskomplexität und Textkomplexität definiert. Durch Variation der Komplexität des Aufgabentextes kann die Aufgabenkomplexität die Werte 1 (maximale Information) bis 4 (minimale Information) annehmen. Die kognitive Aktivität wird auf *Explorieren* festgelegt. Die Beschränkung auf eine kognitive Aktivität hält den Aufwand für die Prüfung des Modells in einem vertretbaren Rahmen. *Explorieren* wird deshalb gewählt, weil es sich auf die Anwendung vorhandener Wissensstrukturen auf unbekannte Inhalte bezieht. *Erinnern* und *Strukturierung* bezeichnen dagegen die Reproduktion vorhandener Wissensstrukturen ohne weitere kognitive Verarbeitung bzw. die Umstrukturierung vorhandener Wissensstrukturen (vgl. Kauertz 2007). Der Entwicklungsstand der physikalischen Kompetenz einer Schülerin bzw. eines Schülers bezogen auf die Konzeptualisierung eines Basiskonzepts sollte sich entsprechend in Aufgaben ausdrücken, die *Explorieren* erfordern.

Das Entwicklungsmodell kann somit durch eine  $4 \times 4$  – Matrix mit den Dimensionen *Konzeptentwicklung* und *Aufgabenkomplexität* repräsentiert werden, die durch Testaufgaben zu operationalisieren ist.

Für die Prüfung des vorgeschlagenen Kompetenzentwicklungsmodells lassen sich folgende Hypothesen ableiten:

- Dieselben Schülerinnen und Schüler lösen in höheren Jahrgangsstufen mit im Mittel gleicher Wahrscheinlichkeit schwierigere Aufgaben, d.h. Aufgaben auf höherer Entwicklungsstufe und Aufgabenkomplexität.
- Dieselben Schülerinnen und Schüler lösen in höheren Jahrgangsstufen mit höherer Wahrscheinlichkeit im Mittel gleich schwierige Aufgaben, d.h. Aufgaben auf gleicher Entwicklungsstufe und Aufgabenkomplexität.

Die Untersuchung ist als Längsschnitt von Jahrgangsstufe 6 bis Jahrgangsstufe 9 angelegt. Vorab werden die Aufgaben in einem Querschnitt mit  $N = 1200$  Schülerinnen und Schülern der Jahrgangsstufen 6, 8 und 10 normiert. Dabei werden die kognitive Fähigkeit und Lesefähigkeit mit den Subskalen Q1 und N1 des KFT 4 – 12 + R (vgl. Heller/Perleth 2000) und des LGVT 6–12 nach Schlagmüller und Schneider (2007) kontrolliert. Die im Rahmen der Normierung getesteten Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufe 6 werden in einem Längsschnitt in Jahrgangsstufe 8 und Jahrgangsstufe 9 jeweils noch einmal getestet. Dabei wird ihnen eine Auswahl der im Quasilängsschnitt normierten Aufgaben erneut vorgelegt. Auch kognitive Fähigkeiten und Lesefähigkeit werden erneut erfasst. Zusätzlich werden die auf Grundlage des Kompetenzmodells festgestellten Entwicklungsverläufe durch wiederholte strukturierte Interviews validiert.

Da den Aufgaben als Operationalisierung des zu prüfenden Kompetenzentwicklungsmodells eine zentrale Bedeutung zukommt, wird bei der Aufgabenentwicklung besonderes Augenmerk auf eine möglichst gute Modellpassung gelegt. Anhand einer Anleitung werden in einem Durchlauf jeweils 16 Aufgaben (entsprechend einer vollständigen Matrix) konstruiert (zur Verwendung von Konstruktionsanleitungen bei der Entwicklung von Aufgaben vgl. Kauertz 2007). Zu Beginn wird der Kontext festgelegt, z.B. ein Skater, der in einer Halfpipe hin und her rollt oder ein fliegendes Flugzeug. Eine Aufar-

Einem Auto geht während der Fahrt auf ebener Strecke das Benzin aus.



Dabei tritt Reibung auf. Dadurch wird die Bewegungsenergie des Autos in thermische Energie umgewandelt.

Warum bleibt ein Auto stehen, dem das Benzin ausgeht?

- ☐ Solange das Auto angetrieben wird, tritt keine Reibung auf. Sie setzt erst ein, wenn das Benzin ausgeht. Dann wird Bewegungsenergie in thermische Energie umgewandelt, bis das Auto stehen bleibt.
- ☐ Wenn das Auto ohne Benzin nicht mehr angetrieben wird, hat das Auto auch keine Bewegungsenergie mehr. Ohne Bewegungsenergie kann das Auto die Reibung nicht mehr überwinden und bleibt stehen.
- ☐ Durch Reibung wird Bewegungsenergie in thermische Energie umgewandelt. Wenn das Auto ohne Benzin nicht mehr angetrieben wird, nimmt die Bewegungsenergie immer weiter ab, bis das Auto schließlich stehen bleibt.
- ☐ Da das Auto ohne Benzin nicht mehr angetrieben wird, drehen sich die Räder immer langsamer. Wenn sie stillstehen, tritt Reibung auf, und die Bewegungsenergie wird in thermische Energie umgewandelt.

Abb. 3: Beispielaufgabe

beitung der Sachstruktur des gewählten Kontextes unter dem Basiskonzept Energie ist die Grundlage für die nächsten Schritte. Von der Beschreibung ausgehend werden getrennte Aufgaben für die einzelnen Stufen der Konzeptentwicklung konstruiert. Dabei unterscheiden sich Aufgaben zu einem bestimmten Kontext und einer bestimmten Entwicklungsstufe nur hinsichtlich ihrer Aufgabenkomplexität. Während also Situation, Fragestellung und vorgegebene Antwortalternativen unverändert bleiben, wird die Komplexität der lösungsrelevanten Information im Aufgabenstamm systematisch über alle vier Aufgabenkomplexitäten variiert. Ein spezieller Kontext liefert demnach 16 Aufgaben, für jede Kombination der vier Entwicklungsstufen und Aufgabenkomplexitäten eine. In Abbildung 3 ist beispielhaft eine Aufgabe der Entwicklungsstufe 3 (Energiebewertung) und der Aufgabenkomplexität 2 (ein Fakt und ein Zusammenhang in den zusätzlichen Informationen) aus dem Kontext *Auto* dargestellt.

Eine Pilotierungsstudie ergab erste statistisch relevante Informationen über die Schwierigkeit der Testaufgaben. Es wurden 32 ausgewählte Aufgaben, zwei aus jeder der 16 Zellen des Modells, mit  $N = 395$  Schülerinnen und Schülern aus 15 Klassen der Jahrgänge 7 bis 11 an Gymnasien pilotiert. Die Aufgaben wurden auf zwei Testhefte zu je 20 Aufgaben verteilt; davon kamen in beiden Heften acht Aufgaben als Ankeraufgaben für eine Raschskalierung zum Einsatz. Zusätzlich wurden entsprechend des Forschungsdesigns die kognitiven Fähigkeiten und die Lesefähigkeit kontrolliert.

### 3. Ergebnisse und Diskussion

Die im Rahmen der Pilotstudie erhobenen Daten wurden auf ein dichotomes Raschmodell angepasst. Aufgaben mit einer Lösungshäufigkeit unter 15% oder über 85%, einem WMNSQ-Fitwert außerhalb des Intervalls  $[0,8; 1,2]$  oder einem  $T$ -Wert größer als 2,0 wurden aus der Analyse ausgeschlossen. Das betraf drei Aufgaben mit unzureichender Lösungshäufigkeit und eine Aufgabe mit zu hohem  $T$ -Wert. Mit den verbleibenden 28 Aufgaben ergab sich eine Reliabilität von  $\alpha = 0,68$ .

Beim Vergleich der Aufgabenschwierigkeiten in Abhängigkeit von den Entwicklungsstufen (s. Abb. 4) kann erwartungskonform ein Ansteigen der Aufgabenschwierigkeit mit den Entwicklungsstufen festgestellt werden. Drei Aufgaben, die der Entwicklungsstufe *Energieformen und -quellen* zugeordnet sind, weisen hingegen eine zu hohe Schwierigkeit auf. Eine Überprüfung dieser drei Aufgaben hat gezeigt, dass sie im Gegensatz zu den anderen Aufgaben dieser Stufe nicht allein das konzeptuelle Verständnis von Energieformen abfragen, d.h. ob sie ausschließlich prüfen, ob die Schülerin bzw. der Schüler in der Lage war, einer gegebenen Situation die relevante Energieform zuzuschreiben. Zur erfolgreichen Bearbeitung ist implizit zusätzlich eine Konzeptualisierung des Energiekonzepts auf der Stufe *Energieumwandlung* notwendig. Die Aufgaben operationalisieren das Modell also nicht adäquat und müssen entsprechend überarbeitet werden. Sie sind im Folgenden aus der Analyse ausgenommen.

Es ergibt sich ein statistisch bedeutsamer Zusammenhang zwischen Aufgabenschwierigkeit  $\delta$  und Entwicklungsstufe  $\lambda$  von  $\tau = 0,465$  ( $p < 0,01$ ). Eine Varianzanalyse

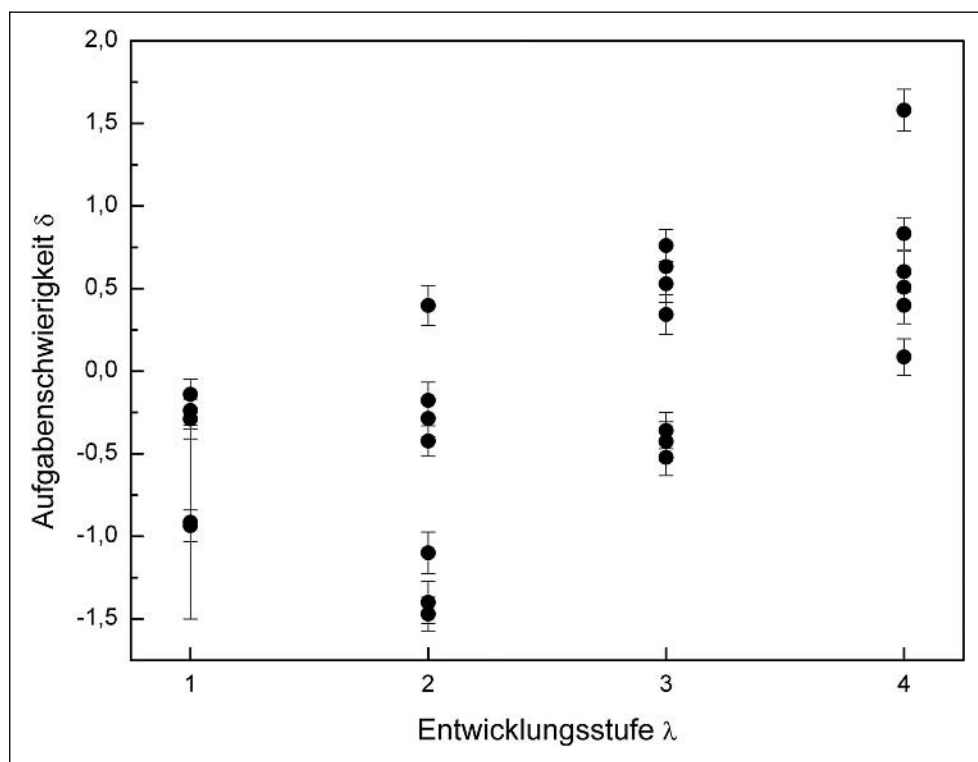


Abb. 4: Aufgabenschwierigkeiten und Entwicklungsstufen

liefert eine Varianzaufklärung von 50% ( $F(3,21) = 7,09$ ;  $p < 0,01$  (zweiseitig);  $\eta^2 = 0,50$ ) durch die Entwicklungsstufen.

Abbildung 5 zeigt die Aufgabenschwierigkeit  $\delta$  in Abhängigkeit von der Aufgabenkomplexität  $\xi$ . Im Gegensatz zu den Entwicklungsstufen zeigen sich hier keine statistisch bedeutsamen Zusammenhänge. Der Grund hierfür liegt möglicherweise in der verhältnismäßig kleinen Zahl von Aufgaben pro Stufe der Aufgabenkomplexität und in der relativ kleinen Stichprobe.

Schließlich wurde der Einfluss der Jahrgangsstufe  $J$  auf den Schätzer  $\beta$  des Fähigkeitsparameters unter Kontrolle kognitiver Fähigkeiten und der Lesefähigkeit untersucht. Die quantitativen Ergebnisse dazu sind in Tabelle 1 wiedergegeben. Es kann ein Anstieg der Schülerfähigkeit mit der Schulzeit konstatiert werden, der, wie erwartet, von kognitiven Fähigkeiten dominiert wird (vgl. Weinert/Helmke 1995). Der geringe Effekt der Lesefähigkeit weist auf gut verständliche Aufgabentexte hin, sodass ein hohes Leseverständnis keinen großen Vorteil beim Bearbeiten liefert. Ebenso spielt die Lesegeschwindigkeit aufgrund ausreichend gewährter Bearbeitungszeit augenscheinlich nur eine nebensächliche Rolle.



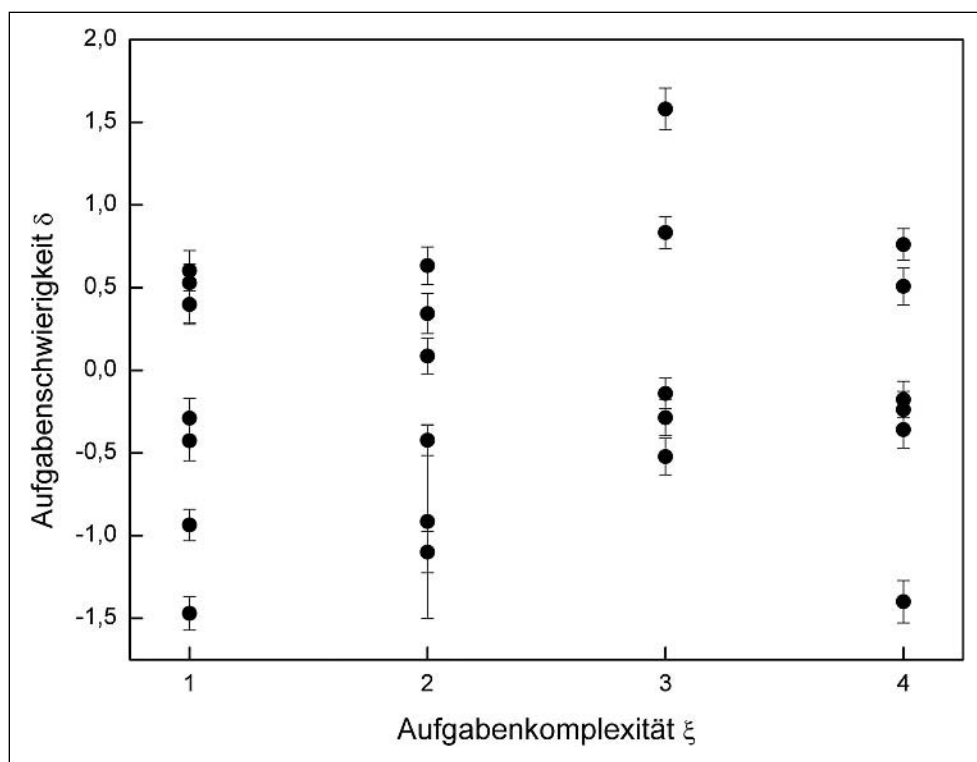


Abb. 5: Aufgabenschwierigkeiten und Aufgabenkomplexitäten

	F	df	Sig.	part. $\eta^2$
Korrigiertes Modell	17,54	7 (379)	$p < 0,01$	0,248
Konstanter Term	2,11	1	$p = 0,15$	0,006
Kognitive Fähigkeiten	32,84	1	$p < 0,01$	0,081
Leseverständnis	6,81	1	$p < 0,01$	0,018
Lesegeschwindigkeit	5,11	1	$p < 0,05$	0,014
Jahrgang J	4,20	4	$p < 0,01$	0,043

Tab. 1: Kovarianzanalyse der Schülerfähigkeit

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Testaufgaben, wie theoretisch erwartet, eine mit der Entwicklungsstufe wachsende Schwierigkeit zeigen. Ein Anwachsen der Aufgabenschwierigkeit mit der Aufgabenkomplexität konnte hingegen nicht nachgewiesen werden. Hier gilt es die Ergebnisse aus der Normierung mit einer angemessenen Stichprobengröße abzuwarten.

#### 4. Erkenntnisgewinn

Im Rahmen des in diesem Beitrag beschriebenen Projekts wurde ein Modell der Entwicklung physikalischer Kompetenz für die Sekundarstufe I in den Dimensionen Konzeptentwicklung und Aufgabenkomplexität theoretisch begründet. Das Modell ist dabei so konstruiert, dass es prinzipiell anschlussfähig an die angrenzenden Bildungsabschnitte ist.

Eine erste Pilotierung ausgewählter Aufgaben bestätigt prinzipielle Annahmen des Modells. Dabei zeigte sich vor allem, dass Aufgaben höherer Entwicklungsstufen auch von Schülerinnen und Schülern höherer Jahrgänge erfolgreich bearbeitet werden konnten. Die umfassende Bestätigung des Modells an einer größeren Stichprobe findet im Sommer 2009 statt. Anschließend folgt die empirische Prüfung des Modells in einem echten Längsschnitt. In dessen Rahmen werden die in der ersten Phase in der 6. Jahrgangsstufe getesteten Schülerinnen und Schüler in den Jahrgängen 8 und 9 erneut getestet. Zusätzlich sollen die auf diese Art und Weise erfassten Entwicklungsverläufe durch strukturierte Interviews validiert werden.

Damit werden neben einem Beitrag zur Beschreibung und Erklärung der Entwicklung physikalischer Kompetenz vor allem auch Instrumente zur Diagnose verschiedener Entwicklungsstände und -verläufe einzelner Schülerinnen und Schüler bereitgestellt.

#### Literatur

- Andersson, B.R. (1990): Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12–16). In: Lijnse, P.L./Licht, P./de Vos, W./Waarlo, A.J. (Hrsg.): Relating macroscopic phenomena to microscopic particles: A central problem in secondary Science Education. Utrecht: CD-Press, S. 12–35.
- Bybee, R.W. (1997): Toward an understanding of scientific literacy. In: Gräber, W./Bolte, C. (Hrsg.): Scientific literacy, an international symposium. Kiel: IPN, S. 37–68.
- Duit, R. (1986): Der Energiebegriff im Physikunterricht. Kiel: IPN.
- Einhaus, E. (2007): Schülerkompetenzen im Bereich Wärmelehre. Berlin: Logos.
- Fischer, H.E./Glemnitz, I./Kauertz, A./Sumfleth, E. (2006): Auf Wissen aufbauen – kumulatives Lernen in Chemie und Physik. In: Kircher, E./Girwidz, R./Häußler, P. (Hrsg.): Physikdidaktik. Theorie und Praxis. Heidelberg: Springer.
- Harmon, M./Smith, T.A./Martin, M.O./Kelly, D.L./Beaton, A.E./Mullis, I.V.S. u.a. (1997): Performance Assessment in IEA's Third International Mathematics and Science Study. TIMSS International Study Center: Boston College.
- Heller, K.A./Perleth, C. (2000): Kognitiver Fähigkeitstest für 4.–12. Klassen, Revision (KFT 4 – 12 + R). Göttingen: Hogrefe.
- Kauertz, A. (2007): Schwierigkeitserzeugende Merkmale physikalischer Leistungstestaufgaben. Berlin: Logos.
- Klieme, E. (2000): Fachleistungen im voruniversitären Mathematik- und Physikunterricht: Theoretische Grundlagen, Kompetenzstufen und Unterrichtsschwerpunkt. In: Baumert, J./Bos, W./Lehmann, R. (Hrsg.): TIMSS/III Band 2. Opladen: Leske+Buderich, S. 57–128.
- Klieme, E./Avenarius, H./Blum, W./Döbrich, P./Gruber, H./Prenzel, M. u.a. (2003): Expertise zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards. Berlin: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).

- Klieme, E./Baumert, J./Köller, O./Bos, W. (2000): Mathematische und naturwissenschaftliche Grundbildung: Konzeptuelle Grundlagen und die Erfassung und Skalierung von Kompetenzen. In: Baumert, J./Bos, W./Lehmann, R. (Hrsg.): TIMSS/III Band 1. Opladen: Leske + Budrich, S. 85–133.
- Liu, X./Lesniak, K. (2006): Progression in children's understanding of the matter concept from elementary to high school. In: *Journal of Research in Science Teaching* 43, S. 320–347.
- Liu, X./McKeough, A. (2005): Developmental growth in students' concept of energy: Analysis from selected items from the TIMSS database. In: *Journal of Research in Science Teaching* 45, S. 493–517.
- Neumann, K./Kauertz, A./Lau, A./Notarp, H./Fischer, H.E. (2007): Die Modellierung physikalischer Kompetenz und ihrer Entwicklung. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 13, S. 125–143.
- Prenzel, M./Rost, J./Senkbeil, M./Häußler, P./Klopp, A. (2001): Naturwissenschaftliche Grundbildung: Testkonzeption und Ergebnisse. In: Baumert, J. u.a. (Hrsg.): PISA 2000 – Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich. Opladen: Leske+Budrich, S. 191–248.
- Schecker, H./Parchmann, I. (2006): Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 12, S. 45–66.
- Schlagmüller, M./Schneider, W. (2007): Lesegeschwindigkeits- und -verständnistest für die Klassenstufen 6–12. Göttingen: Hogrefe.
- Schmidt, M. (2008): Kompetenzmodellierung und -diagnostik im Themengebiet Energie der Sekundarstufe I. Berlin: Logos.
- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland [KMK]. (2005): Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss. München: Luchterhand.
- Vosniadou, S. (2008): *Handbook of Research on Conceptual Change*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Walpuski, M./Kampa, N./Kauertz, A./Wellnitz, N. (2008): Evaluation der Bildungsstandards in den Naturwissenschaften. In: *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht* 61, S. 223–226.
- Weinert, F.E./Helmke, A. (1995): Interclassroom differences in Instructional Quality and Interindividual Differences in Cognitive Development. In: *Educational Psychologist* 30, S. 15–20.
- Wellman, H.M./Gelman, S.A. (1998): Knowledge acquisition in foundational domains. In: Kuhn, D./Siegler, R.S. (Hrsg.): *Handbook of child psychology*. New York: Wiley, S. 523–573.

### **Anschriften der Autoren**

Dipl.-Phys. Tobias Viering, Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik an der Universität Kiel, Didaktik der Physik, Olshausenstr. 62, D-24098 Kiel  
E-Mail: viering@ipn-kiel.de

Dr. Hans E. Fischer, Universität Duisburg-Essen, Fachbereich Physik, Schützenbahn 70, D-45127 Essen  
E-Mail: hans.fischer@uni-due.de

Dr. Knut Neumann, Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN) Kiel, Didaktik der Physik, Olshausenstraße 62, D-24098 Kiel  
E-Mail: neumann@ipn.uni-kiel.de